

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra Pružnosti a pevnosti



Návrh a simulace rámu vozu  
Design and Simulation of Vehicle Frame

Student:

Bc. Jakub SLAVÍK

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin FUSEK, Ph.D.

Ostrava 2014



## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Slavík**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3901T003 Aplikovaná mechanika  
Téma: **Návrh a simulace rámu vozu**  
**Design and Simulation of Vehicle Frame**

Zásady pro vypracování:

1. Rozpracujte teorii související s legislativou vozidel.
2. Rozeberte postupy nutné pro návrh rámu silničních vozidel s použitím dostupných podkladů.
3. Proveďte vlastní návrh a potřebné výpočty.
4. Vyvodte závěry a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Lenert, J.: Pružnost a pevnost II, VŠB – Technická univerzita, Ostrava, 1998.
- [2] Němec, J., Dvořák, J., Höschl, C.: Pružnost a pevnost ve strojírenství, Technický průvodce 69, SNTL, Brno, 1989.
- [3] Bittnar, Z., Šejnoha, J.: Numerické metody mechaniky 1, Vydavatelství CVUT, Praha, 1992.
- [4] Lenert, J.: Úvod do metody konečných prvků, VŠB – TU Ostrava, 1999, ISBN 80 – 7078 – 686 – 8
- [5] Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L.: The Finite Element Method (Volume 1 - 3), Butterworth-Heinemann, Oxford 2000, ISBN 0-7506-5049-4
- [6] Macura, P.: Experimentální metody v pružnosti a plasticitě, VŠB – TU Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-934-4

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Fusek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Radim Halama, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 9.5.2014

.....  


Podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 9.5.2014 .....

..... Slavík .....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jakub SLAVÍK

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ostravská 331/13, 743 01 Bílovec



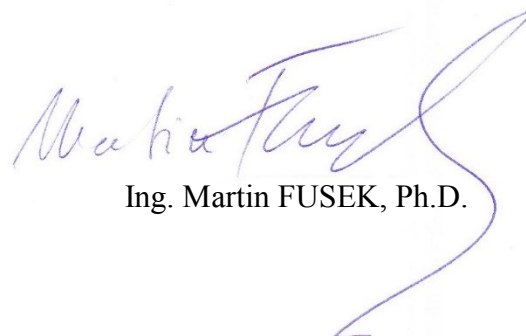


## **Prohlášení vedoucího diplomové práce o duševním vlastnictví výsledků diplomové práce**

Vzhledem k výlučnému duševnímu vlastnictví výsledků diplomové práce, opíraje se o článek1 Zásad pro vypracování diplomové (bakalářské) práce, dokumentu FS\_SME\_05\_003, je komplexní vyřešení zadání práce zařazeno jako technická zpráva. Cituji z dokumentu FS\_SME\_05\_003,,... Tato technická zpráva bude k dispozici pouze oponentům a členům komise pro obhajobu, kteří tímto budou vázáni mlčenlivostí o jejím obsahu.“

**Z pozice vedoucího diplomové práce uznávám ve 100% rozsahu obsah technické zprávy jako úspěšné vyřešení diplomové práce.**

13. května 2014



Ing. Martin FUSEK, Ph.D.



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SLAVÍK, J. *Návrh a simulace rámu vozu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra pružnosti a pevnosti, 2014, 163 s. Vedoucí práce: Fusek, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem a simulací rámu vozu. V úvodu je popsán projekt, v jehož rámci tato práce vznikala, a také specifikace samotného automobilu. Je utvořen soubor potřebných směrnic, vyhlášek a homologačních předpisů, včetně přehledu nutných zkoušek. Byl vytvořen geometrický a konečnoprvkový model, který byl následně optimalizován na základě provedených pevnostních analýz. Cílem práce je vytvořit metodiku návrhu prototypu rámu, pomocí které postupně vzniklo několik verzí rámu. Kritická místa finální verze byla následně podrobena pevnostním i únavovým výpočtům. Na základě vyhodnocení všech výsledků je možno považovat tuto navrženou konstrukci rámu za vyhovující všem požadavkům na ni kladeným.

## ANOTATION OF MASTER THESIS

SLAVÍK, J. *Design and Simulation of Vehicle Frame: Master thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanics of Materials, 2014, 163 p. Thesis head: Fusek, M.

The master thesis is focused on designing and simulation of car frame. The introduction describes a project within which the thesis was conceived as well as a specification of car itself. The set of directives, regulations and homologation guidelines were prepared, including an overview of necessary tests. Geometrical and finite element model was formed followed by optimization based on strength analysis performed. The aim of this work is to prepare a methodology, for designing frame prototype, according to which a few versions of frame were designed. Critical points of the final version were subjected to strength and fatigue calculations. Based on the evaluation of all results it is possible to consider that the designed frame construction is in compliance with all requirements.



## Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce, Ing. Martinu Fuskovi, Ph.D. za jeho odborné rady, postřehy a připomínky, za čas, který mi věnoval, za dlouhodobou spolupráci na tomto projektu.

Neméně bych chtěl poděkovat i doc. Ing. Petru Tomčíkovi, Ph.D. za nabídnutou příležitost zapojit se do tohoto projektu, za prostředky a zázemí, které mi nabídl, za možnost pracovat na tomto zajímavém tématu mé diplomové práce.



## Obsah technické zprávy:

|  |    |
|--|----|
| Seznam použitého značení.....  | 16 |
| 1 O projektu StudentCar .....  | 18 |
| 1.1 O vyvíjeném automobilu.....  | 19 |
| 2 Předpisy a směrnice pro stavbu a provoz motorových vozidel .....                   | 20 |
| 2.1 Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů .....                                      | 20 |
| 2.2 Homologační předpisy Evropské hospodářské komise OSN (EHK).....                  | 21 |
| 2.3 Směrnice Evropského společenství (ES) .....                                      | 23 |
| 2.4 Sériovost motorových vozidel.....  | 23 |
| 3 Druhy a podmínky běžně prováděných zkoušek .....                                   | 25 |
| 3.1 Druhy zkoušek .....  | 25 |
| 3.2 Podmínky provádění zkoušek .....   | 26 |
| 4 Konstrukce rámu.....   | 28 |
| 4.1 Typy konstrukcí rámu .....   | 28 |
| 4.2 Modelování rámu .....  | 30 |
| 4.3 Metoda konečných prvků.....  | 32 |
| 5 Metodika návrhu rámu vozidla .....   | 33 |
| 5.1 Fáze iterační .....  | 33 |
| 5.2 Fáze zpřesnění.....  | 34 |
| 5.3 Výroba prvního prototypu a následná optimalizace.....                            | 34 |
| 5.4 Fáze doplňujících výpočtů .....  | 35 |
| 6 Využití normy a znalosti .....   | 36 |
| 6.1 Uplatnění norem pro kolejová vozidla ČSN EN 12633.....                           | 36 |
| 6.2 Uplatnění znalostí homologačního ústavu TÜV SÜD Czech.....                       | 37 |
| 6.3 Uplatnění norem pro navrhování ocelových konstrukcí EUROKÓD 3.....               | 39 |
| 6.4 Využití metody Hot-spot stress při vyhodnocování životnosti svarů .....          | 41 |
| 6.5 Uplatnění pravidel modelování svarů z MSC Fatigue User's Guide.....              | 43 |
| 7 Druhy provedených stacionárních analýz.....  | 44 |
| 7.1 Modální analýza .....  | 44 |
| 7.2 Torzní tuhost .....  | 45 |
| 7.3 Průjezd zatáčkou .....   | 46 |
| 7.4 Přímá jízda s maximálním bržděním.....   | 47 |
| 7.5 Zatížení vlastní tíhou vozidla při gravitačním zrychlení 2g v osách x, y, z..... | 47 |
| 8 Druhy provedených analýz svarů .....   | 49 |
| 8.1 Statická analýza svarů .....   | 51 |
| 8.2 Únavová analýza svarů .....  | 51 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 9    | Vyhodnocení výsledků statických analýz .....                       | 54  |
| 9.1  | Rám verze 1 .....  | 54  |
| 9.2  | Rám verze 2 .....  | 68  |
| 9.3  | Rám verze 3 .....  | 83  |
| 9.4  | Rám verze 4 .....  | 93  |
| 9.5  | Rám verze 5 .....  | 103 |
| 9.6  | Rám verze 6 .....  | 113 |
| 9.7  | Ověření výpočtů beamového modelu rámu V6 na modelu shellovém ..... | 123 |
| 10   | Vyhodnocení výsledků analýz svarů .....                            | 138 |
| 10.1 | Statická analýza svarů .....                                       | 139 |
| 10.2 | Únavová analýza svarů .....  | 144 |
| 11   | Závěr a zhodnocení výsledků .....                                  | 150 |
|      | Seznam použité literatury .....                                    | 152 |
|      | Přílohy .....  | 154 |
|      | Příloha 1 .....  | 154 |
|      | Příloha 2 .....  | 160 |
|      | Seznam příloh dodaných na DVD .....                                | 163 |



## **Seznam použité literatury**

- [1] VLK, František. *Stavba motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 2003, 499 s. ISBN 80-238-8757-2.
- [2] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 2000, 367 s. ISBN 80-238-5276-0.
- [3] VLK, František. *Lexikon moderní automobilové techniky*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 2005, 344 s. ISBN 80-239-5416-4.
- [4] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: VUT Brno, 2001, 444 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [5] NUSSBAUMER, Alain. ECCS EUROCODE DESIGN MANUALS. *Fatigue Design of Steel Composite Structures*. Brno: WileyBlackwell, 2011, 334 s. ISBN 978-92-9147-101-0.
- [6] SLAVÍK, Jakub. *Parametrická analýza zvedací plošiny a jejího zámku polohy*. Bílovec, 2012, 83 s. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava.
- [7] LENERT, Jiří. *Úvod do metody konečných prvků*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1990, 110 s. ISBN 80-7078-686-8.
- [8] FUSEK, Martin, HALAMA, Radim. *Metoda konečných prvků a metoda hraničních prvků*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011, 95 s.
- [9] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 2. dopl. vyd. Praha: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [10] ČSN EN 1993-1-9. *EUROKOD 3, Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-9: Únava*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [11] ČSN 28 0001. *Kolejová vozidla železniční: Základní termíny a definice*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [12] ČSN EN 14363. *Železniční aplikace: Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [13] ČSN EN 12663-1. *Železniční aplikace: Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [14] ČSN EN 12663-2. *Železniční aplikace: Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [15] 2007/46/ES. *Směrnice evropského parlamentu a rady*. Evropský parlament a rada Evropské Unie, 2007.
- [16] 341/2002 Sb. *Vyhláška ministerstva dopravy a spojů: o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích*. Praha: Ministerstvo dopravy a spojů, 2011.
- [17] StudentCar. *StudentCar* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.studentcar.cz>

[18] Pneurama. *Pneurama* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z:  
[http://www.pneurama.com/en/rivista\\_articolo.php/Tires?ID=10938](http://www.pneurama.com/en/rivista_articolo.php/Tires?ID=10938)

[19] Swell. *Swell* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z:  
<http://www.swell.cz/vyvojova-zkusebna.html#prettyPhoto>

[20] Tatra Kopřivnice. *Kopřivnice* [online]. 2014 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z:  
<http://www.tatra.cz/vas-tatra-partner/zkusebni-areal/>

[21] MSC Patran. *HELP* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z:  
[http://www.mssoftware.com/training\\_videos/patran/Reverb\\_help](http://www.mssoftware.com/training_videos/patran/Reverb_help)

[22] SLAVÍK, Jakub. *Návrh a simulace rámu vozu*. Ostrava, 2014, 163 s. Technická zpráva k diplomové práci. VŠB-TU Ostrava. Vedoucí práce Ing. Martin Fusek, Ph.D.

## **Seznam příloh dodaných na DVD**

Diplomova\_prace\_slavik\_jakub.pdf